

トポロジカル材料科学に基づく革新的機能を有する材料・デバイスの創出
2020年度採択研究代表者

2021年度 年次報告書

于 秀 珍

理化学研究所 創発物性科学研究センター
チームリーダー

Beyond Skyrmion を目指す新しいトポロジカル磁性科学の創出

§ 1. 研究成果の概要

本研究の目標は、「理論による材料設計指針の策定」、「物質合成と物性機能評価」、「顕微観察」の連携により、新規トポロジカル磁性体の創成およびその創発物性評価を行い、新しいトポロジカル磁気テクスチャを探索・実現することである。

本年度に取り組んだ研究は、1)トポロジカル磁性体の創製及びそれがもたらす創発物性の観察・解明、2)3次元磁気構造の顕微技術の開発及びその応用、3)トポロジカル磁気構造の駆動ダイナミクスの観察である。以下の成果が得られた。

- 1)–1: S_4 対称性を持つ磁性体(Fe,Ni)₃P を作製し、4d 遷移金属の置換により磁気異方性を制御することでアンチスキルミオンを安定化させる物質の条件の特定に成功した。
- 1)–2: RKKY 磁性体における、スピнкаイラリティーの揺らぎによる異常ホール効果と異常ネルンスト効果を実証した。
- 2)–1: 電子線ホログラフィー法を用いて FeGe 微粒子に閉じ込められた磁気渦を発見した。
- 2)–2: 新規 3 次元構造を観察する電子顕微鏡を導入し、3次元顕微法および三次元ベクトル場の再構築用のアルゴリズムを開発した。2022 年度に計画していた三次元磁化構造の観察を前倒して、アンチスキルミオン、スキルミオン紐と千切れたスキルミオン紐の端点に現れたモノポールの三次元磁化構造の直接観察に成功した。
- 3)–1: スキルミオンの電流駆動／熱流駆動ダイナミクスの直接観察に成功した。
- 3)–2: 近藤格子磁性体における、トポロジカル相転移現象やベクトルカイラリティーのトポロジカル渦相を発見した。
- 3)–3: 2022 年度に計画したトポロジカル磁気構造がもたらすデバイス機能の開拓を推進し、スキルミオン結晶を利用したリザーバー情報処理素子の理論設計に成功した。

公開した研究成果: Nature Materials、2 本、Nature Communications、2 本、Advanced Materials、1 本、Proceedings of the National Academy of Sciences、1 本、Physical Review B、3 本、その他、4 本、投稿中、5 本。

§ 2. 研究実施体制

(1) 研究代表者グループ

- ① 研究代表者: 于 秀珍 (理化学研究所 創発物性科学研究センター チームリーダー)
- ② 研究項目
 - ・3次元磁化構造の顕微技術の開発
 - ・3次元磁化構造を含む新規トポロジカル磁気テクスチャの探索
 - ・3次元磁化構造を含む新規トポロジカル磁気テクスチャの構造決定およびその実空間ダイナミクスの顕微観察

(2) 共同研究者グループ

- ① 主たる共同研究者: 田口 康二郎 (理化学研究所 創発物性科学研究センター グループディレクター)
- ② 研究項目
 - ・新規トポロジカル磁性体の創製および物性評価
 - ・量子ビームによる磁気構造解析
 - ・新規トポロジカル量子物性・機能の開拓

(3) 共同研究者グループ

- ① 主たる共同研究者: 望月 維人 (早稲田大学 理工学術院 教授)
- ② 研究項目
 - ・電磁場、電流、熱流等によるトポロジカル磁気テクスチャの駆動ダイナミクスの観察、解明
 - ・量子輸送特性(トポロジカルホール効果、トポロジカルネルンスト効果等)の開拓
 - ・トポロジカル磁気テクスチャの量子物性機能およびデバイス機能の探索・確立

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Doping control of magnetic anisotropy for stable antiskyrmion formation in schreibersite (Fe,Ni)₃P with S_4 symmetry”, K. Karube, L. C. Peng, J. Masell, M. Hemmida, H.-A. Krug von Nidda, I. Kézsmárki, X. Z. Yu, Y. Tokura, and Y. Taguchi. *Advanced Materials* 34, 2108770 (2022), DOI: 10.1002/adma.202108770.
- 2) “Large Hall and Nernst responses from thermally induced spin chirality in a spin-trimer ferromagnet”, K. K. Kolincio, M. Hirschberger, J. Masell, S. Gao, A. Kikkawa, Y. Taguchi, T.-h. Arima, N. Nagaosa and Y. Tokura, *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118, e2023588118 (2021), DOI: 10.1073/pnas.2023588118.
- 3) “Geometrically stabilized skyrmionic vortex in FeGe tetrahedral nanoparticles”, Kodai Niitsu, Yizhou Liu, Alexander C. Booth, Xiuzhen Yu, Nitish Mathur, Matthew J. Stolt, Daisuke Shindo, Song Jin, Jiadong Zang, Naoto Nagaosa, Yoshinori Tokura, *Nature Materials*, 21, 305 (2022).
- 4) “Real-space observations of 60-nm skyrmion dynamics in an insulating magnet under low heat

flow”, Xiuzhen Yu, Fumitaka Kagawa, Shinichiro Seki, Masashi Kubota, Jan Masell, Fehmi S. Yasin, Kiyomi Nakajima, Masao Nakamura, Masashi Kawasaki, Naoto Nagaosa, Yoshinori Tokura, *Nature Communications* 12, 5079 (2021).

- 5) “Dynamical switching of magnetic topology in microwave-driven itinerant magnet”, R. Eto, and M. Mochizuki, *Phys. Rev. B* 104, 104425 (2021).